

الصفحة 1 11 ***|	<p style="text-align: center;">**الامتحان الوطني الموحد للبكالوريا المسالك المهنية الدورة العادية 2023</p>		<p style="text-align: center;">المملكة المغربية وزارة التربية الوطنية والتعليم الأول والثالث المرکز الوطني للتقويم والامتحانات</p>
	PPPPPPPPPPPPPPPPPPPP-PPP	الموضوع	NS 202A
4h	مدة الإنجاز	اختبار توليفي في المواد المهنية (الجزء الأول) - الفترة الصباحية	المادة
10	المعامل	شعبة الهندسة الميكانيكية مسلك التصنيع الميكانيكي	الشعبة أو المسلك

Constitution de l'épreuve

- Constitution de l'épreuve et consignes : page 1/11
- Présentation du support de l'épreuve : page 2/11
- Situation d'évaluation thématique 1 : Usinage conventionnel complexe pages 3/11 à 5/11
- Situation d'évaluation thématique 2 : Réalisation d'opérations de rectification.. page 6/11
- Situation d'évaluation thématique 3 : Programmation de MOCN pages 7/12 à 10/11
- Situation d'évaluation thématique 4 : Mécanique appliquée et RDM page 11/11

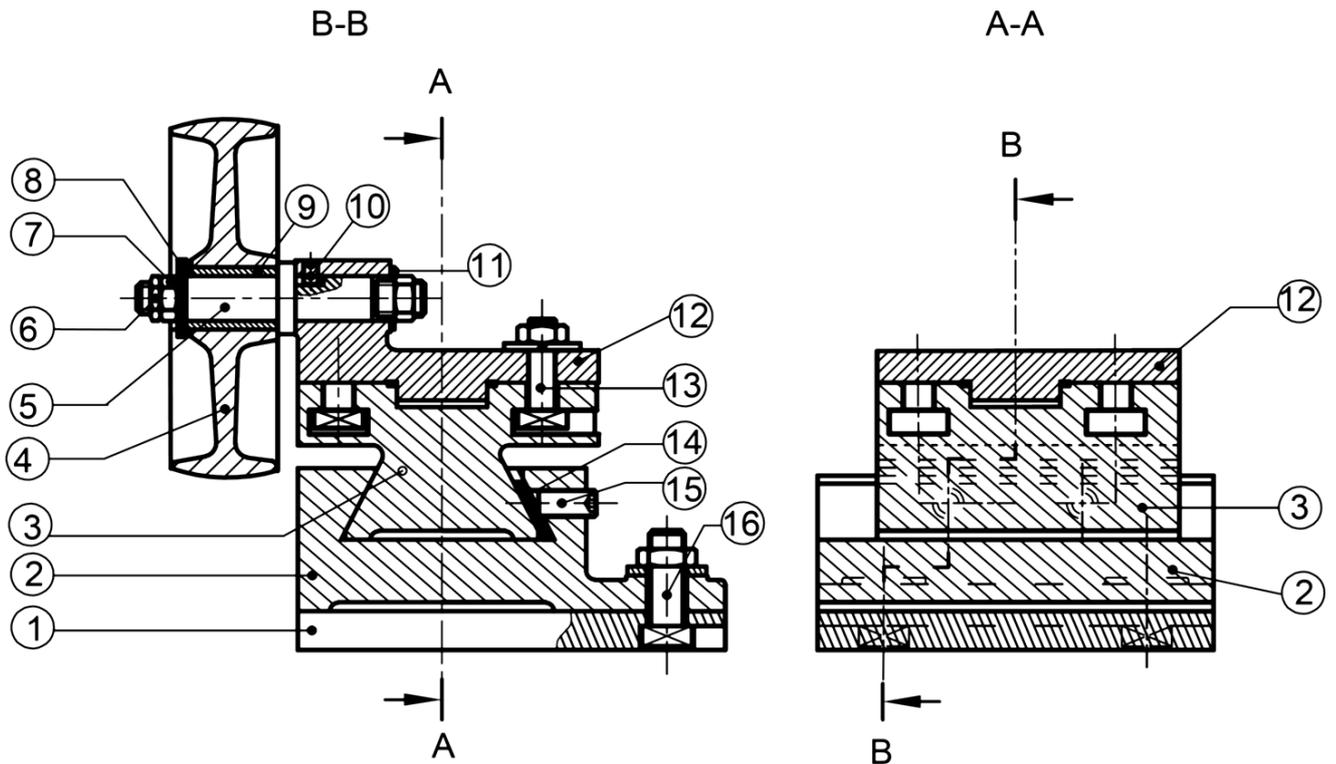
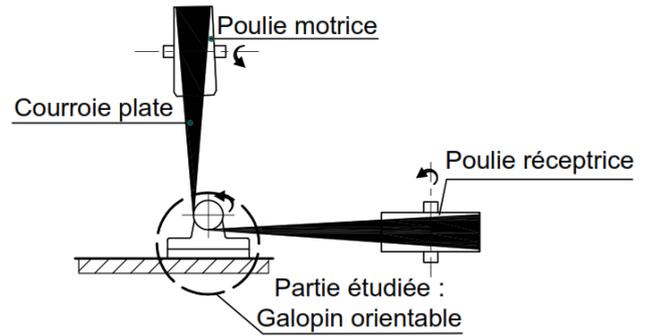
Consignes pour le candidat et les surveillants

- **Seulement les calculatrices scientifiques non programmables sont autorisées ;**
- **Aucun document n'est autorisé ;**
- **L'utilisation du téléphone portable et de tout autre appareil de communication ou de télécommunication est strictement interdite ;**
- **Les candidats rédigeront leurs réponses sur les documents pré-imprimés prévus à cet effet.**
- **Les documents à rendre de la page 3/11 à la page 11/11 ne doivent en aucun cas porter de signes distinctifs : nom ou prénom ou numéro d'examen. Ces documents à rendre doivent être agrafés, par le bas, avec la feuille blanche quadrillée de l'examen du baccalauréat.**

Présentation du support de l'épreuve

Mise en situation :

Fonction globale : le galopin orientable, représenté par son dessin d'ensemble ci-dessous, permet de dévier une courroie plate d'une poulie motrice vers une poulie réceptrice. Les axes de rotation des deux poulies étant perpendiculaires.

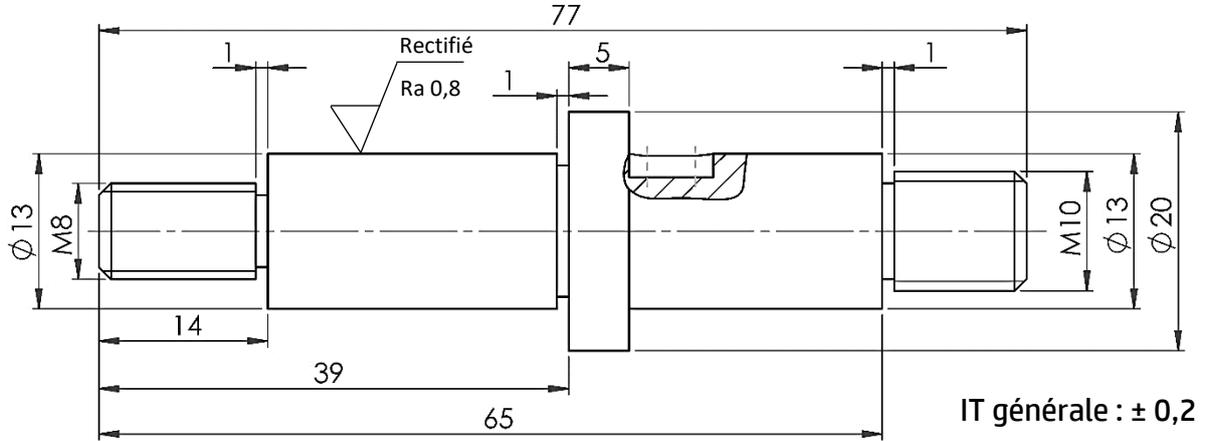


16	2	Boulon		
15	2	Vis de blocage		
14	1	Cale de réglage		
13	3	Boulon		
12	1	Support poulie		
11	1	Rondelle		
10	1	Vis de pression		
9	1	Bague intérieure		Type IR
8	1	Rondelle		
7	1	Ecrou		
6	1	Contre-écrou		
5	1	Axe		
4	1	Poulie	C40	
3	1	Support table supérieur		
2	1	Support table inférieur		
1	1	Table		
Repère	Nombre	Désignation	Matière	Observations

Situation d'évaluation thématique 1 : Usinage conventionnel complexe /30 pts

A. Etude de l'opération de filetage : (..../17pts)

L'objectif de cette partie est la réalisation de l'opération de filetage (M8x1,25) de l'axe 5 suivant :



1. Compléter le tableau suivant par le nom d'outillage correspondant aux types de montage de tournage suivants : /1,5pt

Montage en l'air	Montage mixte	Montage entre pointes
.....

2. Compléter le tableau par la signification de la désignation suivante **M8 x 1,25** : /1,5pt

M	8	1,25
.....

3. Cocher (x) sur le tableau la réponse correcte de la méthode de retombée dans le pas (pas à réaliser est débrayable ou non débrayable), sachant que le pas de la vis-mère **P= 6 mm** et justifier votre réponse : /2pts

La retombée dans le pas		Justification
Pas à réaliser est débrayable
Pas à réaliser est non débrayable

4. Déterminer le nombre de dents du pignon et la graduation du disque gradué de l'équipement de l'indicateur de retombée dans le pas, en se référant aux données suivantes : /2pts

Données			
Pignons disponibles	Disques gradués	Pas vis mère P	Pas à réaliser p
35 et 36 dents	3-4-5-7-8-12-14 graduations	6 mm	1,25 mm

Pignon	La graduation du disque gradué
.....

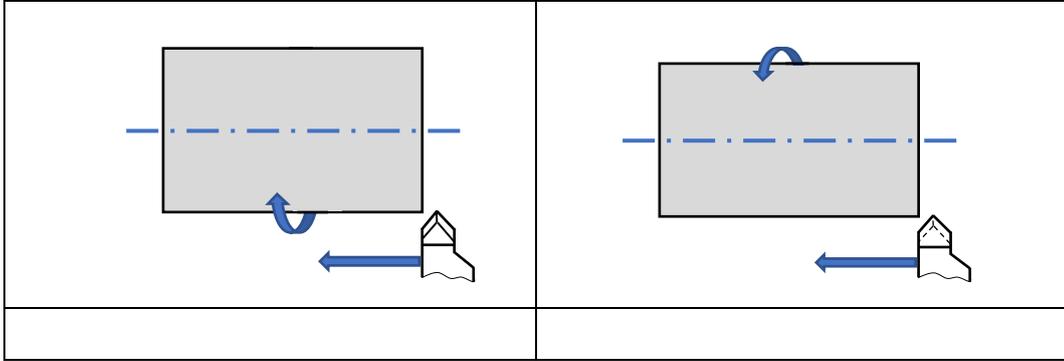
5. Calculer la profondeur du filetage **h3** :

/2pts

.....

6. Mettre une croix (X) dans la case relative à la configuration montage pièce-outil permettant d'obtenir une hélice à droite :

/2pts



7. Donner le nom de l'instrument pour positionner l'outil à fileter :

/1pt

.....

8. Déduire l'avance par tour à afficher sur la machine $f(\text{mm/tr})$:

/1 pt

.....

9. Donner le type de pénétration à utiliser (pénétration droite **ou** pénétration droite avec dégagement latéral) et justifier votre réponse :

/2pts

.....

10. Donner un moyen de mesure et un moyen de contrôle du filetage :

/2pts

Moyen de mesure	Moyen de contrôle
.....
.....

B. Etude de la réalisation de la queue d'aronde femelle du support de table inférieur : (..../13pts)

1. Compléter le tableau suivant ; par l'ordre des opérations (de 1 à 5) à effectuer pour réaliser la queue d'aronde en se référant à la figure 1 ci-contre :

/2,5pts

Ordre	Opérations à effectuer
.....	Ebaucher la queue d'aronde à 60° au centre
.....	Fraiser une rainure simple au centre
.....	Finir le côté droit à la cote Y
.....	Finir le côté gauche à la cote X
.....	Finir le fond de la queue d'aronde à la cote 20

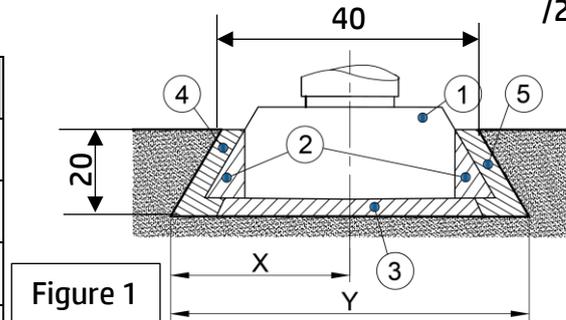


Figure 1

2. Donner le nom de l'outil à utiliser pour réaliser une rainure simple :

/1pt

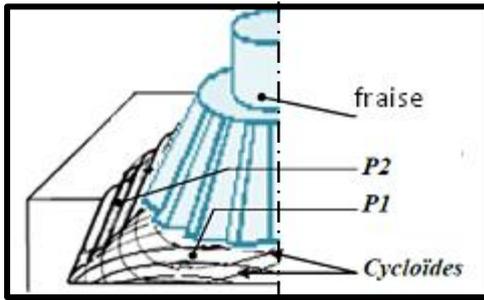
.....

3. Donner le nom de l'outil à utiliser pour réaliser la queue d'aronde à 60° :

/1,5pt

.....

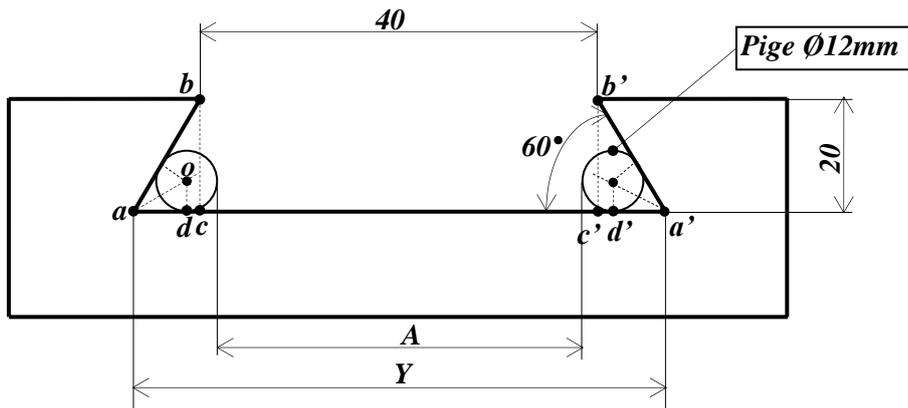
4. Indiquer sur le croquis suivant les mouvements de coupe (**Mc**) et d'avance (**Mf**) : /1pt



5. Cocher (X) les réponses correctes, en se référant au croquis ci-dessus, correspondante aux modes d'usinage des plans P1 et P2 : /1pt

	P1	P2
Fraisage de face		
Fraisage de profil		

6. On désire contrôler la cote sur pignes **A** pour vérifier la cote **Y** :



a. Calculer la cote **Y** à 0,02 près en utilisant le triangle (\widehat{bac}) : /2pts

.....

b. Calculer la cote **A** à 0,02 près en utilisant le triangle (\widehat{oad}) : /2pts

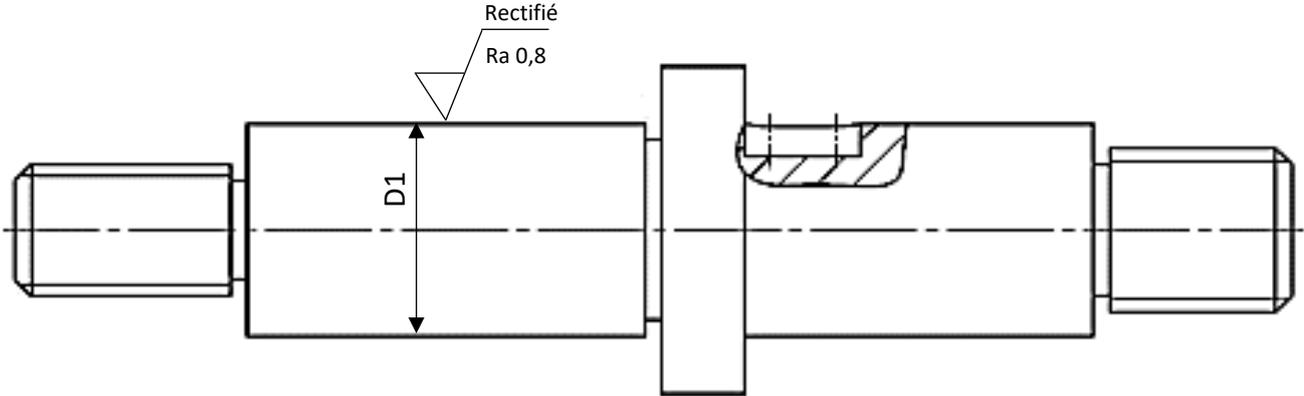
.....

c. Compléter le tableau par les moyens de mesure et de contrôle relatifs aux cotes indiquées : /2pts

Cotes	Moyen de mesure	Moyen de contrôle
20	X
A	X
L'angle 60°

Situation d'évaluation thématique 2 : Réalisation d'opérations de rectification /5,5pts

Etude de la phase de rectification : On se propose de finir la portée cylindrique D1 de l'axe 5.



1. Compléter le tableau suivant en cochant (X) la réponse correcte :

/1pt

	Mouvement de coupe Mc	Mouvement de balayage Mb	Mouvement de pénétration Ma
Pièce			
Meule			

2. Cocher (X) le sens de rotation correct de la meule et de la pièce pour une opération de rectification extérieure :

/0,5pt

<input type="checkbox"/>	Sens contraire	<input type="checkbox"/>	Même sens
--------------------------	----------------	--------------------------	-----------

3. Relier par un trait le type de l'abrasif de la meule avec la matière à rectifier :

/1,5pt

Alumine	Fonte ; bronze ; laiton
Carbure de silicium	Carbures
Diamant	Aciers

4. Cocher le choix (X) de la grosseur du grain en fonction du degré de finition et de la dureté du matériau :

/1pt

	Ebauche	Finition	Matériaux ductiles	Matériaux durs
Gros grain				
Grain fin				

5. Donner l'opération permettant de remédier à l'usure de la meule :

/0,5pt

.....

6. Citer deux défauts de la rectification :

/1pt

.....

.....

Situation d'évaluation thématique 3 : Programmation de MOCN

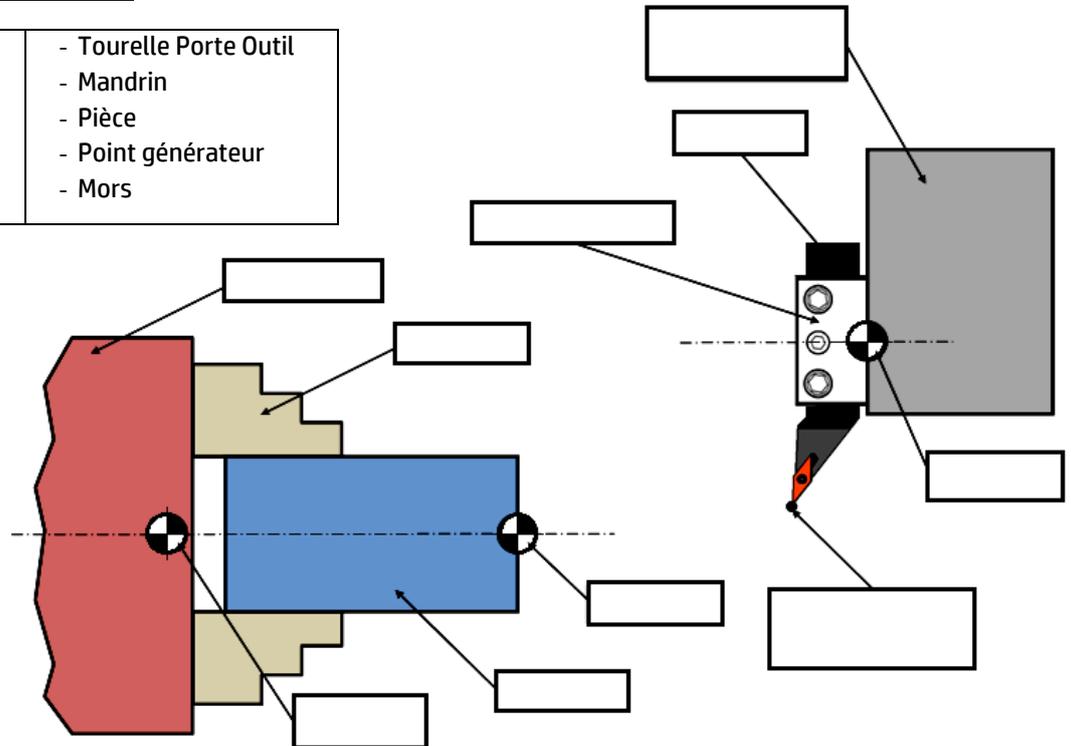
/24,5pts

PARTIE 1 : Questions de cours

1. Placer les noms de la liste des points caractéristiques de la chaîne géométrique sur le croquis suivant : /5pts

Liste des points caractéristiques :

- | | |
|------------------------------------|------------------------|
| - OP : Origine programme | - Tourelle Porte Outil |
| - Opo : Origine porte outil | - Mandrin |
| - Opp : Origine porte pièce | - Pièce |
| - Outil | - Point générateur |
| - Porte Outil | - Mors |



2. A l'aide de l'extrait du programme on vous demande de :

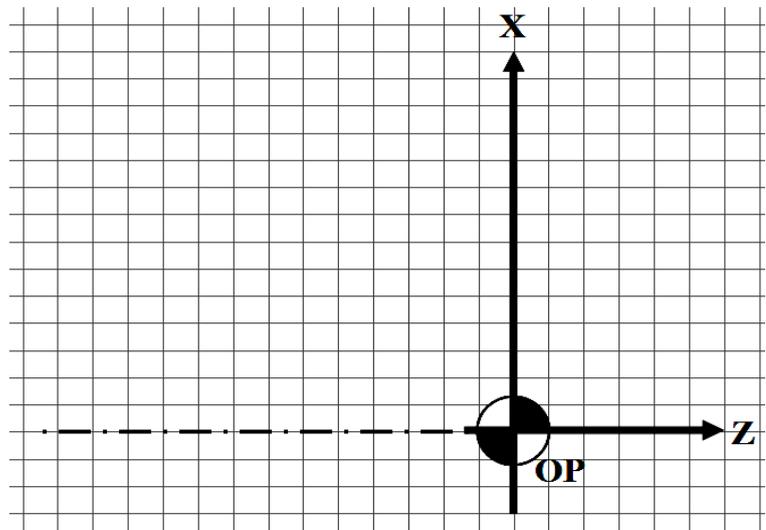
a. Tracer la trajectoire de l'outil :

/1,75pts

L'extrait du programme de tournage

```

O5385 ;
.....
N360 G96G90G54S100M04 ;
N370 G00G42X20Z2 ;
N380 G01X28Z-2F0.05 ;
N390 Z-12 ;
N400 G2X40Z-18R6 ;
N410 G1X48 ;
N420 Z-24 ;
.....
N980 M30 ;
  
```



Echelle : 1 division = 2mm suivant les axes X et Z

b. Déduire les coordonnées atteintes du bloc **N420** :

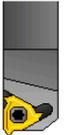
/0,5pt

X=

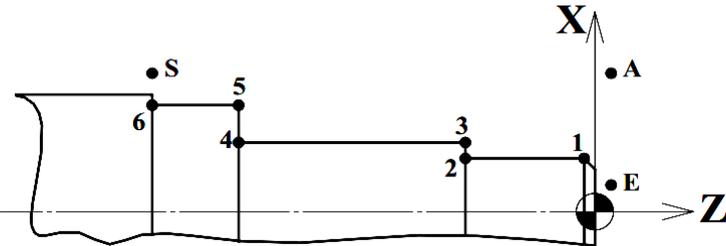
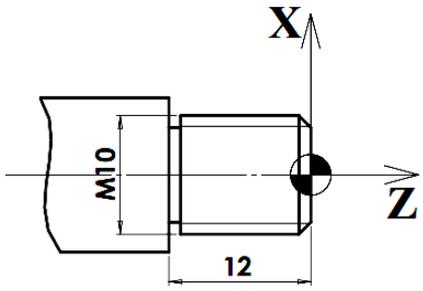
Z=

2. Compléter le tableau de l'ordre chronologique de réalisation de la pièce (Utiliser les données de la liste d'outils disponibles sur poste : /4,25pts

Opérations	Opération 1	Opération 2	Opération 3	Opération 4
Désignation des opérations	.....	Finition profil	Gorge	.....
Nom Outil	Outil à charioter dresser	.....	.....	.....
N° Outil	.....	.....	.....	.....
Vitesse de coupe en m/min	.....	.....	.....	.....
Avance par tour en mm/tr	.....	.....	.....	.....
Profondeur de passe en mm	0,8			
Retrait de l'outil en mm	1			
Surépaisseur de finition / X en mm	0,3			
Surépaisseur de finition / Z en mm	0,3			

Liste d'outils disponibles sur poste			
T1	T2	T3	T4
			
Vc = 200 m/min f = 0.06 mm/tr	Vc = 200 m/min f = 0.2 mm/tr	Vc = 60 m/min f = 1 mm/tr	Vc = 100 m/min f = 0.09 mm/tr Epaisseur=2mm
T5	T6	T7	T8
			
Vc = 60 m/min f = 0.1 mm/tr	Vc = 90 m/min f = 0.08 mm/tr Epaisseur = 1mm	Vc = 160 m/min f = 0.15 mm/tr	Vc = 20 m/min f = 1.5 mm/tr

3. Compléter la programmation des cycles pour réaliser les opérations demandées sur un tour CNC à deux axes à contrôleur FANUC Oi-TD : /5pts

SCHEMAS	CYCLES
	<p>(Opération 1)</p> <p>T..... ;</p> <p>G96 S.....M03 ;</p> <p>G00 X26 Z1.5M08 ;</p> <p>G71 ;</p> <p>G71 P10 Q20 ;</p> <p>..... G1G42X5 ;</p> <p>..... ;</p> <p>Z-12 ;</p> <p>X13 ;</p> <p>Z-33 ;</p> <p>X20 ;</p> <p>Z-41 ;</p> <p>N20 X26 ;</p> <p>G28U0W0 ;</p> <p>(Opération 2)</p> <p>T0101 ;</p> <p>G96S.....M03 ;</p> <p>G0X26Z1.5 ;</p> <p>G70P10 ;</p>
	<p>(Opération 4)</p> <p>T..... ;</p> <p>G97S600M03 ;</p> <p>G0X12Z2 ;</p> <p>G76P020029Q150R180 ;</p> <p>G76X.....Z-11.5P.....Q200F..... ;</p> <p>G28U0W0 ;</p>

Situation d'évaluation thématique 4 : Mécanique appliquée et RDM

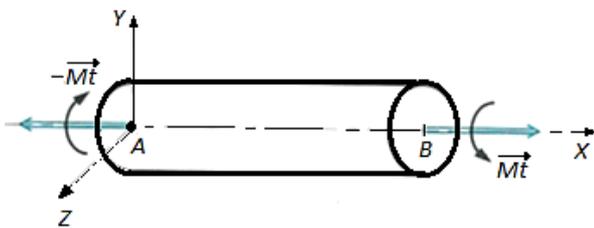
/10pts

La figure ci-dessous représente une partie d'une boîte de vitesse. L'arbre **23**, supposé sollicité uniquement à la torsion, est assimilé à une poutre cylindrique pleine de diamètre **d** qui doit transmettre un moment de torsion **Mt = 200 N.m**. L'arbre **23** est en acier pour lequel :

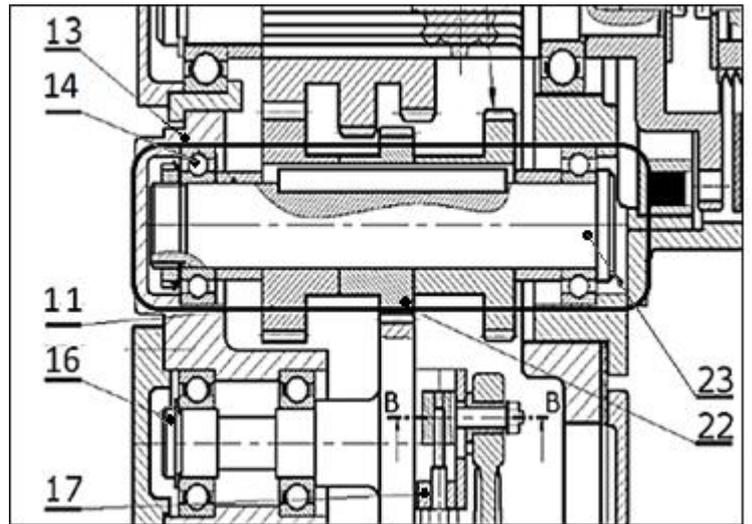
- La résistance élastique au glissement **Reg = 160 MPa = 160 N/mm²** ;
- Le module d'élasticité transversal du matériau (module de Coulomb) **G = 84000 MPa** ;
- On admet pour cette construction un coefficient de sécurité **s=5**

L'étude consiste à déterminer le diamètre minimal de l'arbre 23 et de vérifier sa rigidité.

Aperçu de boîte de vitesse



Rappel : $Mt = G.l_0.\theta$; $I_0 = \frac{\pi.d^4}{32}$



1. Ecrire la condition de résistance à la torsion dans une section droite de l'arbre 23 : /1pt

2. Déterminer le diamètre minimal **d** (en mm), de l'arbre 23 : /4pts

3. Calculer l'angle unitaire de torsion θ (en rad/mm), en prenant **d = 35 mm** : /3pts

4. Ecrire la condition de rigidité à la torsion de l'arbre 23 : /1pt

5. Conclure sur la rigidité de l'arbre 23, si $\theta_{limite} = 1,74 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$: /1pt

الصفحة 1 8 ***|	**الامتحان الوطني الموحد للبكالوريا المسالك المهنية الدورة العادية 2023		المملكة المغربية وزارة التربية الوطنية والتعليم الأولي والرياضة المركز الوطني للتقويم والامتحانات
	PPPPPPPPPPPPPPPPPP-PPP	مخاضر الإجابة	NR 202A
4h	مدة الإنجاز	اختبار توليفي في المواد المهنية (الجزء الأول) - الفترة الصباحية	المادة
10	المعامل	شعبة الهندسة الميكانيكية مسلك التصنيع الميكانيكي	الشعبة أو المملك

Eléments de correction

Observation : Le correcteur est tenu de respecter à la lettre les consignes relatives aux répartitions des notes indiquées sur les éléments de correction

Situation d'évaluation thématique 1 : Usinage conventionnel complexe /30 pts

A. Etude de l'opération de filetage :

(.../17pts)

L'objectif de cette partie est la réalisation de l'opération de filetage (M8x1,25) de l'axe 5 :

1. Compléter le tableau par le nom d'outillage correspondant aux types de montage de tournage suivants :
/1,5pt

Montage en l'air	Montage mixte	Montage entre pointes
Mandrin	Mandrin + contre pointe	Pointe fixe et toc/ pousse toc + contre pointe

0,5 pt par réponse

2. Compléter le tableau par la signification de la désignation suivante **M8 x 1,25** : /1,5pt

M	8	1,25
Profil métrique ISO	Diamètre nominal	Le pas

0,5 pt par réponse

3. Cocher (x) sur le tableau la réponse correcte de la méthode de retombée dans le pas (pas à réaliser est débrayable ou non débrayable), sachant que le pas de la vis-mère **P= 6 mm** et justifier votre réponse :
/2pts

La retombée dans le pas	Justification
pas à réaliser est débrayable	<i>Le pas à réaliser n'est pas sous multiple du pas de la vis-mère</i>
pas à réaliser est non débrayable	

1 pt par réponse

4. Déterminer le nombre de dents du pignon et la graduation du disque gradué de l'équipement de l'indicateur de retombée dans le pas, en se référant aux données suivantes :
/2pts

Données		Données	
Pignons disponibles	Disques gradués	Pas vis mère P	Pas à réaliser p
35 et 36 dents	3-4-5-7-8-12-14 graduations	6 mm	1,25 mm

0,5 pt par réponse

1 pt

$$\frac{p}{P} = \frac{1,25}{6} = \frac{125}{600} = \frac{5}{24} ; \text{ soit } 5 \times 7 = 35 \text{ dents}$$

Pignon	La graduation du disque gradué
35 dents	7

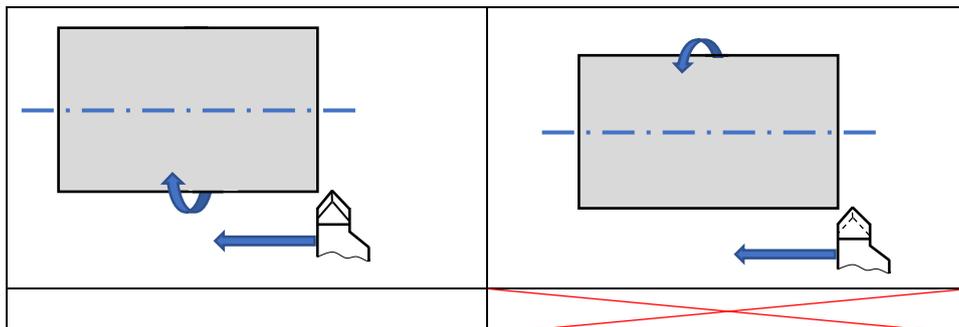
5. Calculer la profondeur du filetage **h3** :

/2pts

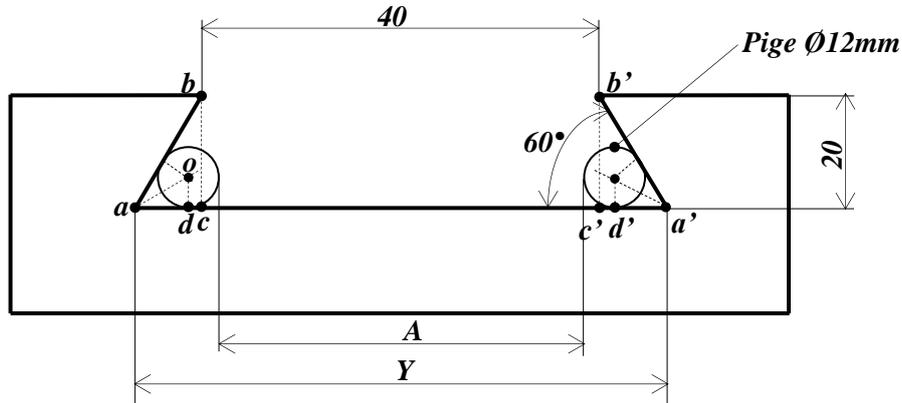
$$h3 = 0,613.p = 0,613.1,25 = 0,766$$

$$h3 = 0,766 \text{ mm}$$

6. Mettre une croix (X) dans la case relative à la configuration montage pièce-outil permettant de d'obtenir une hélice à droite :
/2pts



6. On désire contrôler la cote sur pignes **A** pour vérifier la cote **Y** :



a. Calculer la cote **Y** à 0,02 près en utilisant le triangle (\widehat{bac}) :

$$Y = 40 + ac + a'c' = 40 + 2 \cdot \frac{20}{\text{tg}60^\circ} = 63,09$$

$$Y = 63,09 \text{ mm}$$

/2pts

b. Calculer la cote **A** à 0,02 en utilisant le triangle (\widehat{oad}) :

$$A = Y - 2 \cdot \frac{\varnothing \text{pige}}{2 \cdot \text{tg}30^\circ} - \varnothing \text{pige} = 63,11 - \frac{12}{\text{tg}30^\circ} - 12 = 30,325$$

$$A = 30,325 \text{ mm}$$

/2pts

c. Compléter le tableau par des moyens de mesure et de contrôle relatifs aux cotes indiquées :

/2pts

Cotes	Moyen de mesure	Moyen de contrôle
$20^{\pm 0,1}$	Jauge de profondeur	
$A^{\pm 0,1}$	Cales étalon, calibre à coulisse	0,5 pt par réponse
L'angle $60^{\pm 1^\circ}$	Rapporteur d'angle	Calibre étalon

Situation d'évaluation thématique 2 : Réalisation d'opérations de rectification. /5,5pts

Etude de la phase rectification : On se propose de finir la portée cylindrique D1 de l'axe 5.

1. Compléter le tableau suivant en cochant (X) la réponse correcte :

0,25 pt par réponse

/1pt

	Mouvement de coupe Mc	Mouvement de balayage Mb	Mouvement de pénétration Ma
Pièce	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Meule	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

2. Cocher (X) le sens de rotation correct de la meule et de la pièce pour une opération de rectification extérieure :

/0,5pt

<input type="checkbox"/>	Sens contraire	<input checked="" type="checkbox"/>	Même sens
--------------------------	----------------	-------------------------------------	-----------

3. Relier par un trait le type de l'abrasif de la meule avec la matière à rectifier :

/1,5pt

	Alumine	Fonte ; bronze ; laiton
Carbure de silicium	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Diamant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Carbures
		Aciers

0,5 pt par trait juste

4. Cocher (X) le choix de la grosseur du grain en fonction du degré de finition et de la dureté du matériau : /1pt

0,25 pt par réponse correcte

	Ebauche	Finition	Matériaux ductiles	Matériaux durs
Gros grain	X		X	
Grain fin		X		X

5. Donner l'opération permettant de remédier l'usure de la meule : /0,5pt

Retaillage au diamant

6. Citer deux défauts de la rectification : /1pt

Suivant la
réponse du
candidat

Brûlures et criques ;

Spires ;

Stries ;

Facettes en hélice ;

Piqures, virgules...

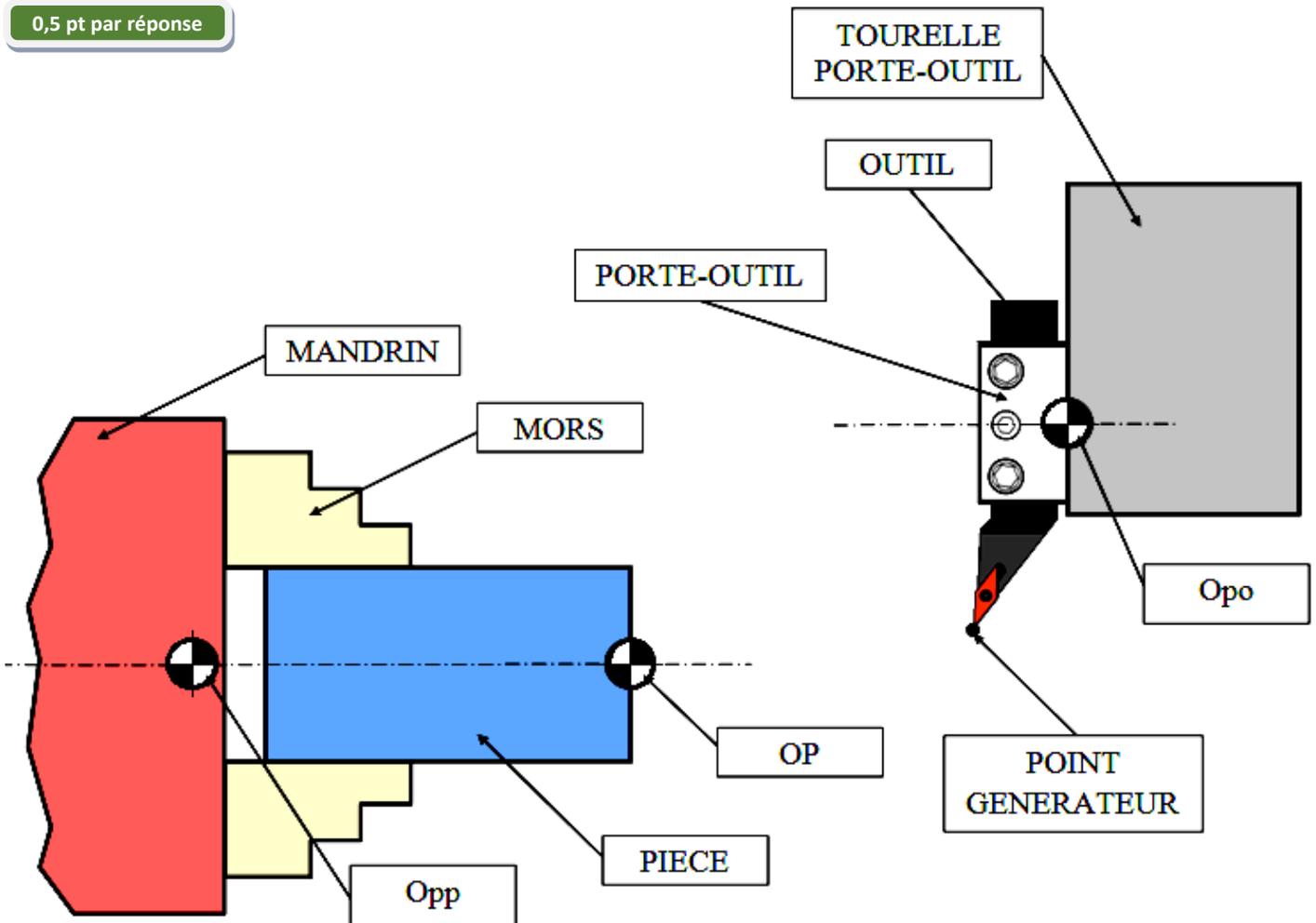
0,5 pt par réponse

Situation d'évaluation thématique 3 : Programmation de MOCN /24,5pts

PARTIE 1 :

1. Placer les noms de la liste des points caractéristiques de la chaîne géométrique sur le croquis suivant : /5pts

0,5 pt par réponse



2. A l'aide de l'extrait du programme, on vous demande de :

a. Tracer le contour de l'outil

/1,75pts

0,25 pt par point correct

L'extrait du programme de tournage

05385 ;

.....

N360

G96G90G54S100M04 ;

N370 G00G42X20Z2 ;

N380 G01X28Z-2F0.05 ;

N390 Z-12 ;

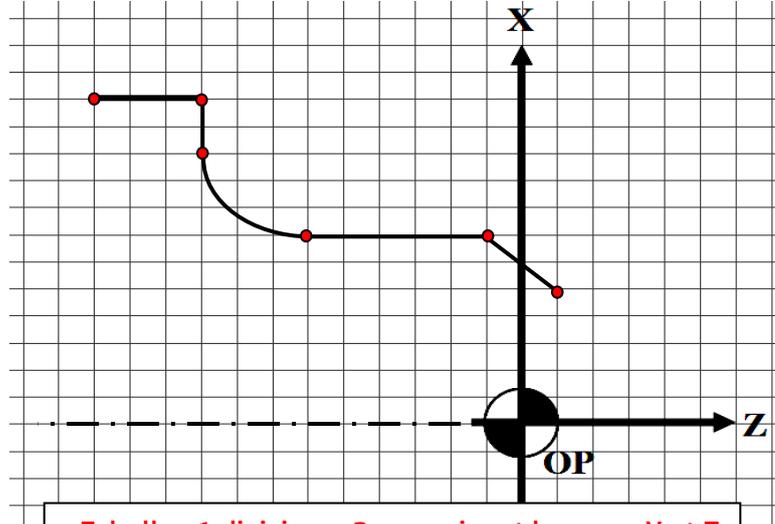
N400 G2X40Z-18R6 ;

N410 G1X48 ;

N420 Z-24 ;

.....

N980 M30 ;



Echelle : 1 division = 2mm suivant les axes X et Z

b. Déduire les coordonnées atteintes du bloc **N420** :

0,25 pt par coordonnée

/0,5pt

X= 48

Z= -24

c. Relever la vitesse de coupe **Vc** (en m/min).

/0,75pt

Vc= 100 m/min

d. Calculer la fréquence de rotation de la broche **N** (en tr/min) relative au bloc N420.

/0,75pt

N=663,48 tr/min

e. Calculer la vitesse d'avance **Vf** (en mm/min) pour une avance par tour $f = 0,05\text{mm/tr}$.

/0,75pt

Vf= 33,17 mm/min

3. On souhaite réaliser une rainure dont la profondeur est de **1mm** (voir figure suivante).

• Compléter les blocs de la programmation en mode relatif :

/2pts

Programmation en mode absolu	Programmation en mode relatif
G90G0X15Y-6 ;	G90G0X15Y-6 ;
G43H4Z6 ;	G43H4Z6 ;
G1Z3F80 ;	G1G91Z-3F80 ;
X47F200 ;	X32F200 ;

PARTIE 2 : Réalisation de l'axe 5 phase 10 :

1. Compléter le tableau des coordonnées, en mode absolu de la trajectoire (A à S) :

/3,75pts

	A	E	1	2	3	4	5	6	S
X	26	5	10	10	13	13	20	20	26
Z	1.5	1.5	-1	-12	-12	-33	-33	-41	-41

2. Compléter le tableau de l'ordre chronologique de réalisation de la pièce (Utiliser les données de la liste des outils disponibles sur poste) :

0,25 pt par réponse juste

/4,25pts

Opérations	Opération 1	Opération 2	Opération 3	Opération 4
Désignation des opérations	Ebauche profil	Finition profil	Gorge	Filetage extérieur
Nom Outil	Outil à charioter dresser	Outil à charioter dresser	Outil à saigner	Outil à fileter extérieur
N° Outil	T7	T1	T6	T8
Vitesse de coupe en m/min	160	200	90	20
Avance par tour en mm/tr	0.15	0.06	0.08	1.5
Profondeur de passe en mm	0,8			
Retrait de l'outil en mm	1			
Surépaisseur de finition / X en mm	0,3			
Surépaisseur de finition / Z en mm	0,3			

3. Compléter la programmation des cycles pour réaliser les opérations demandées sur un tour CNC à deux axes à contrôleur FANUC Oi-TD :

/5pts

SCHEMAS	CYCLES
	<p>(Opération 1) T0707 ; G96 S160 M03 ; G00 X26 Z1.5M08 ; G71 U0.8 R1 ; G71 P10 Q20 U0.3 W0.3 F0.15 ; N10 G1G42X5 ; X10 Z-1 ; Z-12 ; X13 ; Z-33 ; X20 ; Z-41 ; N20 X26 ; G28U0W0 ;</p> <p>(Opération 2) T0101 ; G96S200M03 ; G0X26Z1.5 ; G70P10Q20F0.06 ;</p>
	<p>(Opération 4) T0808 ; G97S600M03 ; G0X12Z2 ; G76P020029Q150R180 ; G76X8.16Z-11.5P920Q200F1.5 ; G28U0W0 ;</p>

0,5 pt par bloc

Situation d'évaluation thématique 4 : Mécanique appliquée et RDM

/10pts

La figure ci-dessous représente une partie de boîte de vitesse. L'arbre **23**, supposé sollicité uniquement à la torsion, est assimilé à une poutre pleine cylindrique de diamètre **d** qui doit transmettre un moment de torsion **M_t = 200 N.m**. L'arbre **23** est en acier pour lequel :

- La résistance élastique au glissement **Reg = 160 MPa = 160N/mm²** ;
- Le module d'élasticité transversal du matériau (module de Coulomb) **G = 84000 MPa** ;
- On admet pour cette construction un coefficient de sécurité **s=5**

L'étude consiste à déterminer le diamètre minimal de l'arbre 23 et de vérifier sa rigidité.

1. Ecrire la condition de résistance à la torsion dans une section droite de l'arbre 23 : /1pt

$$\tau_{Max} = \frac{M_t}{I_o} \leq R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s}$$

2. Déterminer le diamètre minimal **d** (en mm), de l'arbre 23, /4pts

$$\tau_{Max} = \frac{M_t}{I_o} \leq R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s} \text{ donc } d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times s \times M_t}{\pi \times R_{eg}}} \text{ d'où } d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 5 \times 200 \cdot 10^3}{\pi \times 160}}$$

$$d \geq 31,69 \text{ mm donc } d_{mini} = 31,69 \text{ mm}$$

3. Calculer l'angle unitaire de torsion maximal θ_{Max} (en rad/mm), en prenant **d = 35 mm**. /3pts

$$M_t = G \times \theta_{Max} \times I_o \text{ donc } \theta_{Max} = \frac{M_t}{G \times I_o} \text{ et } I_o = \frac{\pi \times d^4}{32} = \frac{\pi \times 35^4}{32} = 147323,51 \text{ mm}^4$$

$$\theta_{Max} = \frac{200 \cdot 10^3}{84000 \times 147323,51} \text{ Donc } \theta_{Max} = 1,61 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

4. Ecrire la condition de rigidité à la torsion de l'arbre 23 : /1pt

$$\theta_{Max} \leq \theta_{limite}$$

5. Conclure sur la rigidité de l'arbre 23, si $\theta_{limite} = 1,74 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$: /1pt

$$\text{On a } \theta_{Max} = 1,61 \times 10^{-5} \text{ rad/mm} \leq \theta_{limite} = 1,74 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

donc l'arbre 23 répond à la condition de rigidité.